



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 40 20 527 A 1

51 Int. Cl. 5:
G 01 B 11/14
G 01 B 11/30
G 01 B 11/24

21 Aktenzeichen: P 40 20 527.4
22 Anmeldetag: 28. 6. 90
43 Offenlegungstag: 9. 1. 92

DE 40 20 527 A 1

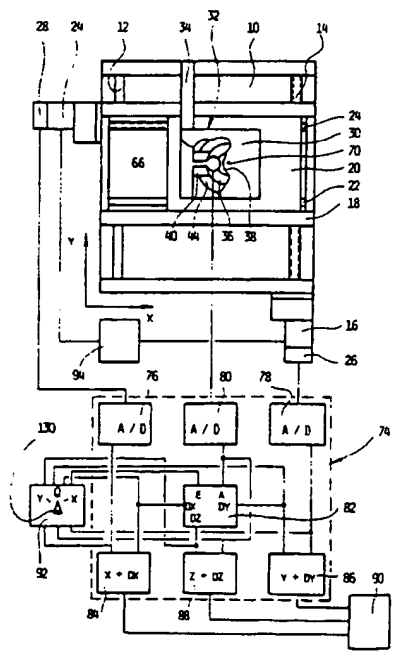
71 Anmelder:
Focus Meßtechnik GmbH & Co KG, 7505 Ettlingen,
DE
74 Vertreter:
Ostertag, U., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Ostertag, R.,
Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 7000 Stuttgart

72 Erfinder:
Breitmeier, Ulrich, Dr., 7505 Ettlingen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Optische Meßmaschine

57 Eine optische Meßmaschine, die gleichermaßen zum Ausmessen von Mikrokonturen und größeren Konturen einer Werkstückoberfläche (50) geeignet ist und bei der eine axial durch einen Stellmotor (36, 44) bewegbare Linse (38) durch zwei parallel übereinanderliegende Blattfedern (40, 42) gelagert ist, gibt ein mit der Linse (38) zusammenarbeitender Stellungsgeber (66) ein Rohsignal für die Oberflächenkontur ab. Mit diesem wird ein Korrekturspeicher (82) adressiert, der für jede Linsenstellung aufhängungsbedingte und verkippsbedingte Versätze ausgleichende Korrektursignale (dx , dy , dz) enthält. Diese werden in Summierkreisen (84 bis 88) mit den Roh-Meßsignalen für die Koordinaten des Abtastpunktes zusammengefaßt.



DE 40 20 527 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine optische Meßmaschine zum Ausmessen des Mikroprofils von Werkstückoberflächen gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Eine derartige Meßmaschine ist in der DE-OS 38 00 427 beschrieben. Mit ihr lassen sich Mikroprofile von Werkstückoberflächen sehr exakt und einfach ausmessen. Wichtig ist hierbei, daß die Objektlinse reibungsfrei gelagert ist und gleichzeitig auf die Achse des Abtastkopfes der Meßmaschine sauber justiert ist. Dies wird über eine durch das Blattfederpaar gebildete Parallelogrammführung gewährleistet. Eine Gleitführung für die Linse würde bei den nur sehr kleinen Linsenverlagerungen (gemäß dem absolut gesehen kleinen Oberflächenprofil) zu Verfälschungen führen, da bei jedem Nachführen der Linse zunächst die Haftreibung der Führungseinrichtung aufgebrochen werden muß müßte.

Für manche Anwendungsfälle wäre es nun vorteilhaft, wenn eine derartige optische Meßmaschine nicht nur sehr kleine Amplitude aufweisende Mikroprofile von Werkstückoberflächen ausmessen könnte sondern auch Oberflächenkonturen mit größerer Amplitude.

Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß gelöst durch eine optische Meßmaschine gemäß Anspruch 1.

Die erfindungsgemäße optische Meßmaschine enthält weiterhin die durch das Paar parallel übereinanderliegender Blattfedern gebildete federnde Aufhängung und Axialführung für die Linse, die reibungsfrei arbeitet. Zusätzlich sind Vorkehrungen getroffen, um die seitliche Versetzung der Linsenhalterachse, die bei größerer Auslenkung erfolgt so zu kompensieren, daß insgesamt die richtigen Koordinaten des Abtastpunktes in der Referenzebene und die richtige Höhe des Abtastpunktes über der Referenzfläche erhalten wird.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in Unteransprüchen angegeben.

Gemäß Anspruch 2 lassen sich auf apparativ einfache, gegen Störeinflüsse unempfindliche und präzise Weise Korrektursignale sehr unterschiedlicher Größe auch bei nichtlinearem Zusammenhang zwischen der Linsenauslenkung und dem Versatz der Linsenhalterachse speichern.

Die Weiterbildung der Erfindung gemäß Anspruch 3 ist im Hinblick auf eine einfache Korrektur der Roh-Meßsignale von Vorteil.

Mit den Weiterbildungen der Erfindung gemäß den Ansprüchen 4 und 5 wird erreicht, daß der Meßstrahl selbst bei ausgelenktem Linsenhalter so modifiziert wird, daß er an demjenigen Punkt der Werkstückoberfläche auftrifft, welchen die Soll-Linsenachse schneidet.

Die im Anspruch 6 angegebenen Kompensationsmotoren zeichnen sich durch ein rasches Ansprechverhalten, mechanisch einfachen Aufbau und geringen Leistungsbedarf aus. Dabei haben die elektrostriktiven und magnetostriktiven Elemente den zusätzlichen Vorteil, daß sie eine abgesehen von den gewünschten feldinduzierten Längenänderungen starre Anbringung der Linse bzw. des verkippbaren optischen Elementes ermöglichen.

Mit einer Einrichtung gemäß Anspruch 7 kann man auf einfache Weise den Korrekturspeicher für eine beliebige optische Meßmaschine individuell programmieren und so nicht nur systembedingten sondern auch fertigungsbedingten Meßfehlern der Meßmaschine Rechnung tragen.

Verwendet man gemäß Anspruch 8 eine Eichplatte, bei welcher die Höhenlinien durch Kanten der Oberflä-

che gebildet sind, so kann man diese Unstetigkeiten dazu verwenden, ausgehend vom Linsenstellungsgeber-Ausgangssignal einen Adreßzähler automatisch hochzuzählen, der die aufeinanderfolgenden Speicherzellen des Referenzspeichers adressiert, in welchen die Koordinaten der Höhenlinien in Abtastrichtung und Elevation über der Basisfläche abgespeichert sind.

Gemäß Anspruch 8 kann man zusätzlich auch Korrektursignale für die Elevation gewinnen, die dann gebraucht werden, wenn der Abtastkopf nicht exakt senkrecht zur Referenzebene justiert ist.

Mit der Weiterbildung der Erfindung gemäß Anspruch 10 kann man auf einfache Weise Höhenlinien definieren, die zwischen den mechanisch in die Eichplatte eingearbeiteten Höhenlinien liegen und so mehr Zwischenpunkte der Korrektur-Kennlinie ermitteln als physikalisch auf der Eichplatte vorgesehen sind. Man kann so auch einfach bei nicht erregtem Linsenstellmotor eine der Höhenlinien exakt in den Brennpunkt der Linse stellen, sodaß eine mechanische Höhenfeinjustierung der Eichplatte nicht notwendig ist.

Ein Eichkörper mit einer sehr großen Anzahl äquidistanter Höhenlinien bekannter Lage läßt sich gemäß Anspruch 11 preisgünstig unter Verwendung eines optischen Gitters realisieren, wie es in Gitterspektrometern Verwendung findet.

Nachstehend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert.

In dieser zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer optischen Meßmaschine zum Bestimmen sowohl des Mikroprofils als auch einer gröberen Oberflächenkontur eines Werkstückes;

Fig. 2 eine schematische vergrößerte Ansicht des Abtastkopfes der Meßmaschine nach Fig. 1;

Fig. 3 eine ähnliche Ansicht wie Fig. 2, wobei jedoch die beweglichen Teile des Abtastkopfes in der Stellung wiedergegeben sind, die sie über einem vertieften Abschnitt der Werkstückoberfläche einnehmen;

Fig. 4 eine vereinfachte schematische Darstellung der Meßverhältnisse bei einem Abtastkopf, dessen Achse nicht exakt senkrecht auf der Referenzebene steht;

Fig. 5 eine schematische Darstellung der Auswirkung von Meßfehlern, welche sich bei einem herkömmlichen Abtastkopf für große Amplituden des Oberflächenprofils und bei Verkippungen des Abtastkopfes ergeben würden;

Fig. 6 eine schematische Darstellung eines Eichkörpers, mit dessen Hilfe ein Korrekturspeicher der Meßmaschine nach Fig. 1 programmiert wird;

Fig. 7 ein Blockschaltbild eines Korrekturspeicher-Programmierschaltkreises der Meßmaschine nach Fig. 1;

Fig. 8 einen abgewandelten Abtastkopf für eine optische Oberflächen-Meßmaschine zusammen mit einer Einrichtung zum Kompensieren des bei großer Auslenkung erhaltenen seitlichen Versatzes des Linsenhalters;

Fig. 9 eine ähnliche Ansicht wie Fig. 8, in der jedoch eine abgewandelte Versatz-Kompensationseinrichtung gezeigt ist; und

Fig. 10 eine ähnliche Ansicht wie Fig. 8, in welcher eine weiter abgewandelte Versatz-Kompensationseinrichtung wiedergegeben ist.

In Fig. 1 ist eine Meßmaschine zum optischen Ausmessen des Mikroprofils von Werkstückoberflächen wiedergegeben, die ein Maschinenbett 10 aufweist. Ein Koordinatensystem x, y, z gibt mit seiner xy -Ebene eine Referenzebene vor, die z -Koordinate entspricht der Hö-

henkoordinate (Elevation). Auf dem Maschinenbett 10 ist mittels eines Führungsstabes 12 und einer Gewindespindel 14, die von einem y-Koordinatenantrieb 16 her in Drehung versetzt wird, ein y-Schlitten 18 verschiebbar. Letzterer trägt einen x-Schlitten 20, der auf einem Führungsstab 22 läuft und durch eine Gewindespindel 22 verstellt wird, die ihrerseits von einem x-Koordinatenantrieb 24 in Drehung versetzt wird.

Den Koordinatenantrieben 16, 24 sind Stellungsgeber 26, 28 zugeordnet, deren Ausgangssignale die Koordinaten desjenigen Punktes des das Werkstück tragenden Schlittens 20 angeben, der momentan mit der Achse des Gehäuses 30 eines insgesamt mit 32 bezeichneten Abtastkopfes zusammenfällt. Der Abtastkopf 32 ist seinerseits über eine feststehende Brücke 34 vom Maschinenbett 10 getragen.

Wie insbesondere aus Fig. 2 ersichtlich, umfaßt der Abtastkopf 32 einen hülsenförmigen Linsenhalter 36, der aus axial magnetisiertem Material besteht und eine Linse 38 trägt. Der Linsenhalter 36 ist durch zwei parallel übereinander angeordnete Blattfedern 40, 42 an der Brücke 34 befestigt, die zusammen eine Parallelogrammführung für den Linsenhalter 36 bilden.

Der Linsenhalter 36 durchsetzt unter radialem Spiel eine Ringspule 44, die von einem Speisekreis 46 her so erregt wird, daß der Brennpunkt der Linse 38 auf dem gerade ausgeleuchteten Abtastpunkt 48 der zu vermessenden Werkstückoberfläche 50 liegt.

Hierzu enthält der Abtastkopf 32 einen Halbleiterlaser 52, der einen Meßstrahl 54 mit kleinem Öffnungswinkel erzeugt. Dieser wird durch einen halbdurchlässigen Strahlteiler 56 und über einen voll verspiegelten Umlenkspiegel 58 durch die Linse 38 auf den Abtastpunkt 48 fokussiert, und das von dort reflektierte Licht gelangt durch die Linse 38, über den Umlenkspiegel 58 und den Strahlteiler 56 sowie durch ein Dachprisma 60 auf einen Wandler 62 mit zwei zur Wandlermitte symmetrischen photoelektrischen Wandlerhälften. Die Ausgangssignale der letzteren werden auf die beiden Eingänge eines Differenzverstärkers 64 gegeben, dessen Ausgangssignal auf den Speisekreis 46 gegeben wird. Dieser regelt seinen Ausgangsstrom so ein, daß sein Eingangssignal Null wird.

Die Stellung des Linsenhalter 36 wird durch einen Stellungsgeber 66 gemessen, der z. B. ein nach dem Tauchspulenprinzip arbeitender Stellungsgeber sein kann.

Die oben beschriebene Aufhängung des Linsenhalters 36 durch die beiden Blattfedern 40, 42 hat den Vorteil, daß sie eine reibungsfreie Axialführung für die Linse 38 darstellt, welche sich somit ruckfrei auch um sehr kleine Strecken bewegen kann, wenn sich die z-Koordinate des Abtastpunktes 48 ändert und der Speisestrom der Ringspule 44 so nachgeregelt wird, daß der Abstand zwischen der Linsenebene und dem Abtastpunkt 48 wieder der Brennweite f der Linse 38 entspricht. Das Ausgangssignal des Stellungsgebers 66 ist, wie aus der obigen Darlegung ersichtlich, direkt ein Maß für die z-Koordinate des Abtastpunktes 48.

Mißt man mit dem in Fig. 2 gezeigten Abtastkopf Oberflächenkonturen mit größerem Amplitudenhub aus, so führt die oben beschriebene Aufhängung des Linsenhalters dazu, daß — wie in Fig. 3 gezeigt — die dort mit 68 bezeichnete Achse des Linsenhalters seitlich zur mit 70 bezeichneten Sollachse des Abtastkopfes (Gehäuseachse oder Linsenachse bei nicht erregter Ringspule) versetzt ist. In diesem Falle erhält man einen entsprechenden seitlichen Versatz dx zwischen dem

echten Abtastpunkt 48 und dem Sollabtastpunkt 72 (Schnittpunkt der Sollachse 70 mit der Werkstückoberfläche 50).

Sind die beiden Blattfedern 40, 42 exakt in x-Richtung ausgefluchtet, erhält man einen Versatz der Linsenhalterachse 68 bei großen Linsenhalterauslenkungen in z-Richtung nur in x-Richtung, nicht jedoch in y-Richtung. Sind die beiden Blattfedern 40, 42 nicht exakt in x-Richtung ausgefluchtet, ergibt sich ein ähnlicher seitlicher Versatz dy auch für die y-Richtung.

In der Praxis ist es zuweilen unmöglich, die Sollachse 70 des Abtastkopfes 32 exakt senkrecht auf die xy-Ebene auszurichten. Zuweilen arbeitet man auch absichtlich mit einer aus der z-Richtung herausgekippten Sollachse 70, nämlich dann, wenn man für die Nachregelung der Linsenstellung ausschließlich diffus reflektiertes Licht verwenden will.

Wie aus Fig. 4 ersichtlich, ergibt sich bei gekippter Sollachse 70 ein zusätzlicher seitlicher Versatz dx in x-Richtung, der zu dem anhand von Fig. 3 erläuterten Versatz hinzukommt, der in Fig. 4 der besseren Übersichtlichkeit halber weggelassen ist. Dort sind vereinfacht nur die Verhältnisse bei Lage des Abtastpunktes 48 in der Referenzebene bzw. unterhalb der Referenzebene (gestrichelt) eingezeichnet. Aus Fig. 4 ist ferner ersichtlich, daß sich bei gekippter Sollachse 70 auch ein kleiner Meßfehler dz in z-Richtung ergibt.

Um diese Meßfehler dx , dy und dz auszuräumen, hat die Meßmaschine nach Fig. 1 eine insgesamt mit 74 bezeichnete Korrekturschaltung.

Die Ausgangssignale der Stellungsgeber 26, 28, 66 werden durch Analog/Digitalwandler 76, 78, 80 in BCD-codierte Signale umgesetzt. Durch das der z-Koordinate zugeordnete Ausgangssignal des Analog/Digitalwandlers 80 wird ein Korrekturspeicher 82 adressiert. Hierbei kann es sich um ROM, insbesondere EPROM oder EEPROM, oder ein von einem nichtflüchtigen Massenspeicher, z. B. einer Festplatte, her eingelesenes RAM handeln. Der Korrekturspeicher 82 enthält in seinen Speicherzellen für eine vorgegebene z-Koordinate jeweils die erforderlichen Korrekturgrößen dx , dy und dz , die an entsprechenden Ausgängen des Korrekturspeichers bereitgestellt werden. Diese Korrektursignale werden in Summierkreisen 84, 86, 88 zu den entsprechenden Roh-Meßsignalen hinzuaddiert und die fehlerkorrigierten Meßsignale werden auf eine Ausgabeinheit 90 gegeben, die in der Regel einen Monitor und einen Plotter umfaßt und die Kontur der Werkstückoberfläche 50 grafisch ausgibt und/oder rechnerisch auswertet (z. B. Umrechnung in Rauheitswert).

Zum Einspeichern der Korrektursignale dx , dy und dz in den Korrekturspeicher 82 dient ein Programmierkreis 82, der mit den digitalisierten Roh-Meßsignalen beaufschlagt ist und zudem mit den Datenklemmen des Korrekturspeichers 82 verbunden ist. Sein Aufbau wird später unter Bezugnahme auf Fig. 7 noch näher erläutert.

Fig. 5 zeigt schematisch, welche Fehler sich ergeben würden, wenn man ohne die soeben beschriebene Fehlerkorrektur eine Werkstückoberfläche 50 mit abwechselnd geradlinig ansteigenden und abfallenden Oberflächenabschnitten ausmessen würde. Die fehlerbehaftete Meßkurve ist gestrichelt bei 50' gezeigt.

Das Einspeichern der Korrektursignale dx , dy , dz kann dann, wenn nur prinzipbedingte Fehler korrigiert werden sollen, rechnerisch unter Berücksichtigung der Geometrie der Aufhängung für den Linsenhalter 36 sowie unter Berücksichtigung einer fest vorgegebenen

Verkipfung der Sollachse 70 durch einen entsprechend programmierten Rechner erfolgen.

Um aber auch fertigungsbedingte unterschiedliche Meßfehler einer speziellen Meßmaschine mit korrigieren zu können, werden die Korrektursignale dx , dy und dz für jede Meßmaschine experimentell unter Verwendung einer Oberfläche mit genau bekanntem Oberflächenprofil ermittelt.

Fig. 6 zeigt einen besonders gut geeigneten, insgesamt mit 86 bezeichneten Eichkörper. Dieser enthält eine Eichplatte 88 mit einer schräg abfallenden oberen Stirnfläche 100, in welche ausgehend von der Mitte in regelmäßigem Abstand dreieckigen Querschnitt aufweisende Nuten 102 eingestochen sind, die senkrecht zur Zeichenebene von Fig. 6 verlaufen. Die Tiefe und die Anzahl der Nuten ist vorzugsweise so gewählt, daß die verschiedenen Kanten (am Nutgrund und zwischen den Nutflanken und der Stirnfläche 100) in x -Richtung und z -Richtung unter gleichem Abstand aufeinanderfolgen.

Anstelle der mechanisch sehr exakt zu bearbeitenden Eichplatte mit abfallender Stirnfläche kann man auch ein unter dem Stirnflächenwinkel gekippt angeordnetes handelsübliches Strichgitter verwenden, wie es in Gitterspektrometern verwendet wird. Man hat hier eine sehr große Anzahl von äquidistanten Höhenlinien bekannter Lage.

Die Eichplatte 88 ist über einen Piezoaktuator 104 auf einer Basisplatte 106 angebracht.

Der Piezoaktuator 104 wird von einem steuerbaren Hochspannungsgenerator 108 her beaufschlagt, dessen Steuerspannung durch einen einstellbaren Widerstand 110 vorgegeben werden kann. Dieser kann auch ein durch einen Rechner steuerbarer Spannungsteiler sein.

Zum Eichen einer Meßmaschine wird der Eichkörper 86 (ggf. unter Verwendung von festen Anschlagleisten) des Schlittens 20 so auf diesen angebracht, daß die Stirnfläche 100 in x -Richtung abfällt und die mittlere der Nuten 102 mit ihrem Grund in der Referenzebene ($z=0$) steht.

Nun wird der Schlitten 20 so bewegt, daß die gesamte Oberseite der Eichplatte 88 unter dem Abtastkopf 32 vorbeigefahren wird.

Wie aus Fig. 7 ersichtlich, ist an die mit dem Rohsignal für die z -Richtung beaufschlagten Leiter ein Differenzierkreis 112 mit integriertem Doppelweggleichrichter angeschlossen, der somit jedesmal dann einen Ausgangsimpuls bereitstellt, wenn eine der Kanten der Eichplatte 88 unter dem Abtastkopf 32 hindurchläuft. Durch diese Impulse wird ein Adressierzähler 114 angesteuert, dessen Ausgang mit den Adreßklemmen eines Referenzspeichers 116 verbunden ist. In diesem sind für jede Kante die Koordinaten (x_0 bzw. z_0) gespeichert.

Läßt sich die mittlere Nut 102 mit mechanischen Mitteln nicht ganz exakt auf die Referenzebene einjustieren, so kann die restliche Feinkorrektur durch Verstellen des Widerstandes 110 erfolgen. Man kann den Widerstand 110 aber auch dazu verwenden, die Kanten der Eichplattenoberfläche um eine kleine Strecke in z -Richtung gezielt zu verlagern, um weitere Zwischenpunkte der Korrektur-Kennlinie $dx(z)$ zu ermitteln. In diesem Falle muß dann die elektrische z -Verstellung der Eichplatte 88 zu den im Referenzspeicher 116 abgelegten z_0 -Werten hinzugerechnet werden. Hierzu wird über eine Leitung 118 das Steuersignal für den Piezoaktuator 104 auf einen Analog/Digitalwandler 120 gegeben. Dieser ist mit den Adreßklemmen eines Festwertspeichers 122 verbunden, in welchem für jede Steuerspannung die entsprechende Längenänderung dz_0 des Piezoaktors

104 abgelegt ist. In einem Summierkreis 124 werden die Ausgangssignale von Referenzspeicher 116 und Festwertspeicher 122 addiert.

Ein Subtrahierkreis 126 erhält das Roh-Meßsignal für die x -Richtung (x) und das entsprechende Referenzsignal (x_0) und berechnet hieraus die Korrekturgröße dx . Ein weiterer Subtrahierkreis 128 ist mit dem Ausgang des Summierkreises 124 und dem nicht modifizierten z -Meßsignal beaufschlagt und berechnet den Korrekturwert dz . Diese Werte werden über einen insgesamt mit 130 bezeichneten Schalter auf Leitungen bereitgestellt, die mit der dx - bzw. dz -Klemme des Korrekturspeichers 82 verbunden sind. Auf einer weiteren Leitung gibt der Programmierkreis 92 ferner dann ein Aktivierungssignal für eine Einlesesteuerecklemme E des Korrekturspeichers 82 ab, wenn von ihm Korrekturwerte berechnet werden.

Hierzu ist der vier Schalteebenen aufweisender Schalter 130 mit vier mechanisch gekoppelten Schaltbrücken 132, 134, 136, 138 vorgesehen. Deren mittlere Schaltstellungen sind jeweils nicht belegt.

In der ersten und dritten Schaltstellung stellt die Schaltbrücke 134 jeweils eine Verbindung zur Versorgungsspannung $+V$ her, wodurch das Einlese-Steuersignal E für den Korrekturspeicher 92 bereitgestellt wird. Die entsprechenden ansteigenden Signalfanken gelangen zugleich auf die Rückstellklemme R des Adressierzählers 114.

Durch die Schaltbrücke 132 wird wahlweise das x -Meßsignal bzw. das y -Meßsignal auf den Subtrahierkreis 126 gegeben, so daß die in Fig. 7 gezeigte Programmierschaltung auch für die Eichung in y -Richtung verwendet werden kann, wozu nur der Eichkörper 96 um 90° um die z -Achse gedreht werden muß und der y -Koordinatenantrieb 16 anstelle des x -Koordinatenantriebes 24 aktiviert wird.

Die Schaltbrücke 136 gibt das Ausgangssignal des Subtrahierkreises 126 entsprechend wahlweise auf die Leitung zum dx - bzw. zum dy -Eingang des Korrekturspeichers 82. Die Schaltbrücke 138 gibt in beiden Einstellungen das Ausgangssignal des Subtrahierkreises 128 auf die Leitung zum dz -Eingang des Korrekturspeichers 82. In der Mittelstellung der Schaltbrücken sind die Leitungen vom Programmierkreis 92 zum Korrekturspeicher 82 nicht mit Signal beaufschlagt.

Bei dem soeben beschriebenen Ausführungsbeispiel erfolgt eine Korrektur der Roh-Stellungssignale gemäß einer zuvor experimentell oder rechnerisch ermittelten Korrektur-Kennlinie für die x -, y - und z -Richtung in Abhängigkeit vom gemessenen z -Signal.

Bei einer vereinfachten Ausführungsform kann man die Korrektur auch nur für die x -Richtung vornehmen und die entsprechenden Schaltkreise für die y - und z -Richtung weglassen, wenn die Blattfedern 40, 42 gut parallel zur x -Achse ausgefluchtet sind und allenfalls eine kleine Verkipfung der Sollachse 70 vorliegt.

Bei dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel ist aber ein Ausmessen einer starken Änderung der Oberflächenkontur in z -Richtung zwangsläufig mit einer Verlagerung des Abtastpunktes 48 in x -Richtung verbunden. Dies bedeutet, daß man die Fußpunkte derartiger scharfer Rücksprünge und Vorsprünge nicht mit sehr hoher Präzision auflösen kann.

Bei den abgewandelten Ausführungsbeispielen nach den Fig. 8 bis 10 erfolgt die Korrektur des seitlichen Versatzes des Linsenhalters 36 bei größeren Auslenkungen der Blattfedern 40, 42 dadurch, daß man ein optisches Element so verlagert, daß der Ist-Abtastpunkt 48

auf der Sollachse 70 gehalten wird.

In den Fig. 8 bis 10 sind Bauteile, die obenstehend unter Bezugnahme auf die Fig. 1 bis 7 schon erläutert wurden, wieder mit denselben Bezugszeichen versehen und werden nicht nochmals im einzelnen beschrieben.

Bei der in Fig. 8 gezeigten Meßmaschine ist am Linsenhalter 36 über einen piezoelektrischen Aktuator 140 eine Linsenfassung 142 angebracht. Der Aktuator 140 erstreckt sich in x-Richtung und kann die Linse 38 von der Linsenhalterachse 68 in seitlicher Richtung auf die Sollachse 70 bewegen. In einem Korrekturspeicher 82, der wieder durch das digitalisierte (80) Ausgangssignal des z-Stellungsgebers 66 adressiert wird, sind jeweils diejenigen Spannungswerte in digitaler Form abgelegt, die benötigt werden, um gerade die erforderliche Kompensationsbewegung vom piezoelektrischen Aktuator 140 zu erhalten. Das vom Korrekturspeicher 82 ausgegebene digitale Korrektursignal wird in einem Digital/Analogwandler 144 in ein analoges Steuersignal umgesetzt, mit welchem ein Hochspannungsgenerator 146 angesteuert wird, der den Aktuator 140 speist.

Das Ausführungsbeispiel nach Fig. 9 unterscheidet sich von dem nach Fig. 8 dadurch, daß das Bewegen des Abtastpunktes 48 auf die Sollachse 70 durch Verkippen der Linse 38 erfolgt. Die Linsenfassung 142 ist nun schwenkbar im Inneren des Linsenhalters 36 angeordnet, wobei die Schwenkachse 148 vorzugsweise um die Hälfte des maximalen seitlichen Versatzes dx von der Linsenhalterachse 68 entfernt ist, wie aus der Zeichnung ersichtlich. Die Linsenfassung 142 ist drehfest mit einem Hebel 150 verbunden, der durch einen nach dem Tauchspulenprinzip arbeitenden elektromagnetischen Aktuator 152 verstellt werden kann. Dessen Erregung kann analog erfolgen wie die Erregung des Aktuators 140 von Fig. 8, indem man den Hochspannungsgenerator 146 durch eine steuerbare Stromquelle ersetzt.

Bei den Ausführungsbeispielen nach den Fig. 8 und 9 waren die Aktuatoren 140, 152 so angebracht, daß die durch sie zu bewegendenden Massen möglichst klein sind. Es versteht sich, daß man die Aktuatoren stattdessen auch zwischen der Brücke 34 und einem hiervon getrennten Tragteil für die Blattfedern 40, 42 anbringen kann, wobei dann der gesamte Abtastkopf verschoben oder verschwenkt wird.

Beim Ausführungsbeispiel nach Fig. 10 ist der Umlenkspiegel 58 auf einer Welle 154 drehbar angebracht, die wieder einen Hebel 150 trägt, der durch einen feststehenden elektromagnetischen Aktuator 152 verschwenkbar ist. Der Speisestrom für den Aktuator 152 wird wieder ausgehend von in einem Korrekturspeicher abgelegten Werten eingestellt, die so gewählt sind, daß der Umlenkspiegel 58 gerade soweit verkippt wird, daß der Abtastpunkt 48 von der Linsenhalterachse 68 auf die Sollachse 70 gelegt wird.

Patentansprüche

1. Meßmaschine zum optischen Ausmessen des Mikroprofils von Werkstückoberflächen, mit einer Lichtquelle (52), mit einer durch zwei parallel übereinanderliegende Blattfedern (40, 42) axial beweglich gelagerten Linse (38) zum Abbilden der Lichtquelle auf die Werkstückoberfläche (50) und zum Abbilden des von der Werkstückoberfläche (50) reflektierten Lichtes auf eine Detektoranordnung (60 bis 64), die ein der Außerbrennpunktslage des abgetasteten Punktes (48) der Werkstückoberfläche (50) zugeordnetes Ausgangssignal bereitstellt, mit

einem auf die Linse (38) arbeitenden Fokussier-Stellmotor (36, 44), mit einer Regelschaltung (46), die den Stellmotor (36, 44) so erregt, daß das Ausgangssignal der Detektoranordnung (60 bis 64) dem bei einer Brennpunktslage des Abtastpunktes (48) erhaltenen Ausgangssignal entspricht, mit einem die Axialstellung der Linse (38) messenden Stellungsgeber (66) und mit Abtastpunkt-Stellungsgebern (26, 28), welche den Koordinaten (x, y) der Abtastkopfachse (70) in einer Referenzebene ($z=0$) entsprechende Ausgangssignale bereitstellen, gekennzeichnet durch

a) einen Korrekturspeicher (82), dessen Eingang mit dem Ausgangssignal des Linsenstellungsgebers (66) beaufschlagt ist und der dem durch die Blattfederaufhängung der Linse (38) und/oder einer Grundverkipfung der Abtastkopfachse (70) zugeordnete Korrektursignale (dx, dy, dz) in Abhängigkeit vom Eingangssignal (z) bereitstellt und durch

b) eine Rechenschaltung (84 bis 88), welche den Ausgangssignalen (x, y, z) der Stellungsgeber (26, 28, 66) die Versatz-Korrektursignale (dx, dy, dz) hinzufügt; oder

b') eine Kompensations-Stelleinrichtung (140; 152), die in Abhängigkeit von den vom Korrekturspeicher (82) bereitgestellten Korrektursignalen (dx, dy, dz) erregt wird, um den Meßlichtstrahl (54) oder das Werkstück (50) entgegen dem Versatz zu bewegen.

2. Meßmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangssignal des Linsenstellungsgebers (66) auf einen Analog/Digitalwandler (80) gegeben wird und dessen Ausgangssignal zur Adressierung des digitalen Korrekturspeichers (82) verwendet wird.

3. Meßmaschine nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausgangssignale der Abtastpunkt-Stellungsgeber (26, 28) auf Analog/Digitalwandler (76, 78) gegeben werden und die Rechenschaltung (84 bis 88) digitale Summierkreise aufweist, die mit den digitalisierten Ausgangssignalen der Stellungsgeber (26, 28, 66) und den digitalen Korrektursignalen (dx, dy, dz) des Korrekturspeichers (82) beaufschlagt sind und die versatzkompensierten Meßsignale bereitstellen.

4. Meßmaschine nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Linse (38) transversal verschiebbar oder verkipptbar mit dem Abtriebsteil (36) des Fokus-Stellmotors (44, 46) verbunden ist und die Kompensationseinrichtung einen ebenfalls von diesen Abtriebsteil (36) getragenen und an der Linse (38) angreifenden Kompensationsmotor (140; 152) aufweist.

5. Meßmaschine nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein optisches Element (58), über welches die Richtung des Meßlichtstrahles (54) vorgegeben wird, verkipptbar gelagert (154) ist und die Kompensationseinrichtung einen an diesem optischen Element (58) angreifenden Kompensationsmotor (152) aufweist.

6. Meßmaschine nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Kompensationsmotor (140; 152) ein elektromagnetischer Aktuator, ein elektrostriktiver Aktuator oder ein magnetostriktiver Aktuator ist.

7. Einrichtung zum Programmieren eines Korrekturspeichers (82) einer Meßmaschine nach einem

der Ansprüche 1 bis 6, gekennzeichnet durch einen Eichkörper (86), welcher eine Mehrzahl parallel zur Aufstellfläche verlaufender Höhenlinien (104) bekannten Abstandes und bekannter Elevation über der Basisfläche aufweist.

8. Einrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Höhenlinien (104) Kanten in der Oberfläche des Eichkörpers (86) sind und an den Ausgang des Linsenstellungsgebers (66) ein Differenzierkreis (112) angeschlossen ist, dessen Ausgangssignale zum Hochzählen eines Adressierzählers (114) dienen, mit welchem ein Referenzspeicher (116) adressiert wird, in welchem die Lagekoordinaten der Höhenlinien (104) abgelegt sind, und daß das Ausgangssignal des Referenzspeichers (116) und das Ausgangssignal des Abtastpunkt-Stellungsgebers (26, 28) für die jeweilige Abtastrichtung (x, y) und das Ausgangssignal des Referenzspeichers (116) auf die Eingänge eines Subtrahierkreises (126) gegeben werden, dessen Ausgang das Versatzkorrektursignal (dx, dy) für die betrachtete Abtastrichtung bereitstellt, welches in den Korrekturspeicher (82) eingelesen wird.

9. Einrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangssignal des Linsen-Stellungsgebers (66) und das Ausgangssignal des Referenzspeichers (116) auf einen zweiten Subtrahierkreis (128) gegeben werden, der ein Höhenversatz-Korrektursignal (dz) bereitstellt, welches in den Korrekturspeicher (82) eingelesen wird.

10. Einrichtung nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Eichkörper (96) eine von einem piezoelektrischen oder magnetostriktiven Aktuator (104) getragene Eichplatte (98) aufweist, deren Stirnfläche (100) die Höhenlinien (104) trägt; und daß der Programmierkreis (92) einen Summierkreis (124) aufweist, der mit dem Ausgang eines Festwertspeichers (122), der mit dem digitalisierten Steuersignal (118, 120) für den Eichplatten-Aktuator (104) adressiert wird und die Längenänderungen des Aktuators (104) enthält, die für die verschiedenen Aktuator-Erregerspannungen oder Erregerströme erhalten werden, und mit dem Ausgang des Referenzspeichers (116) verbunden ist und ein modifiziertes Referenzsignal bereitstellt.

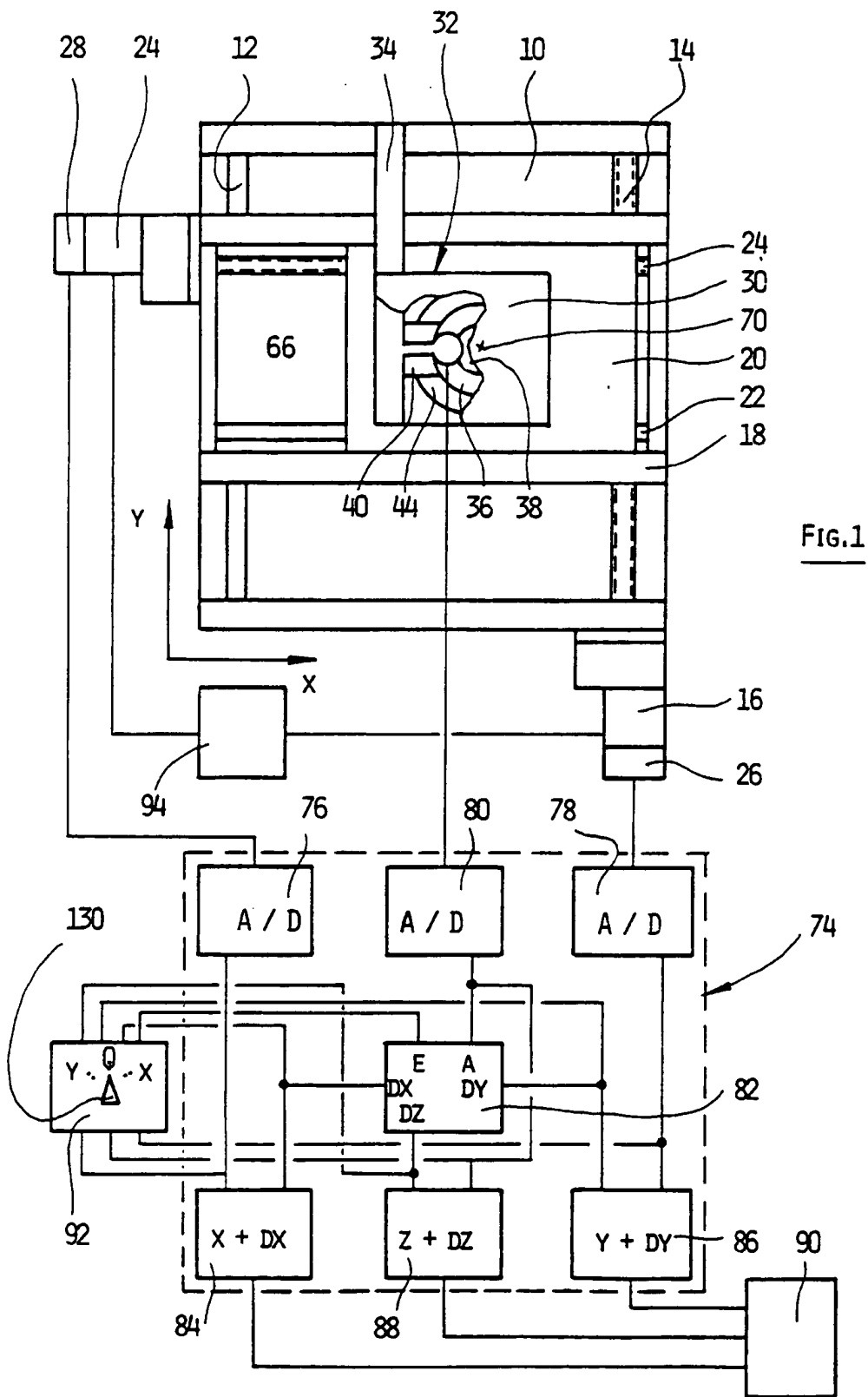
11. Einrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Stirnfläche des Eichkörpers (96) durch ein unter kleinem Winkel zur Referenzebene angestelltes optisches Gitter gebildet ist.

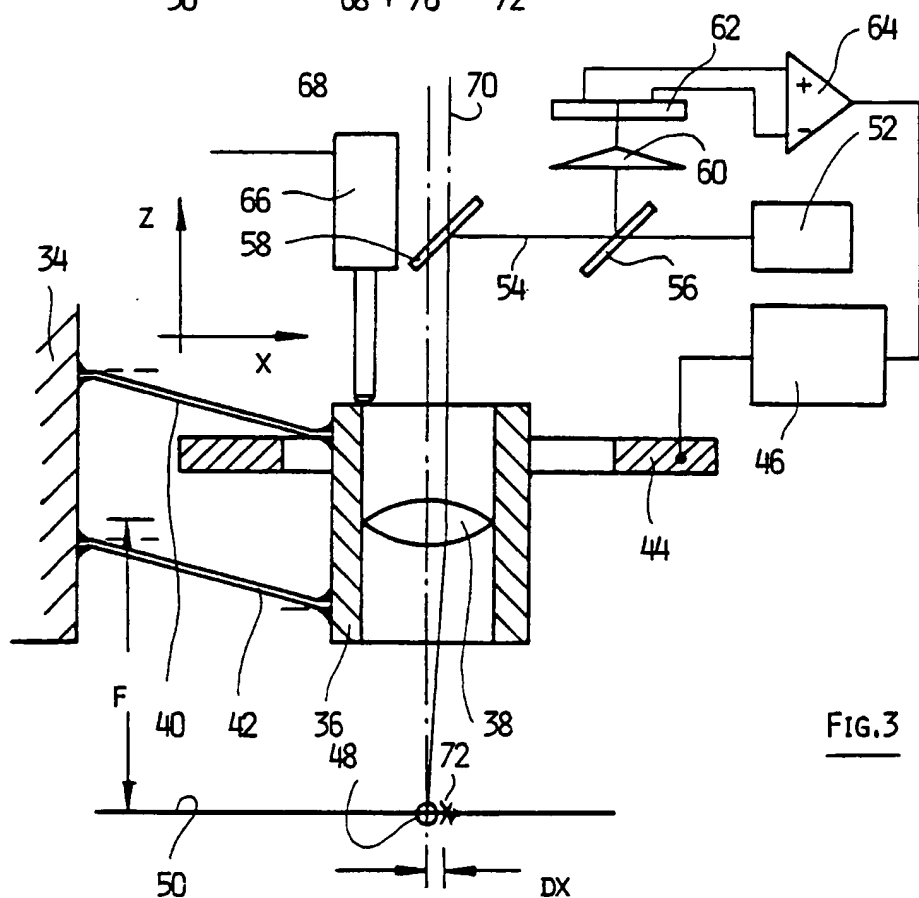
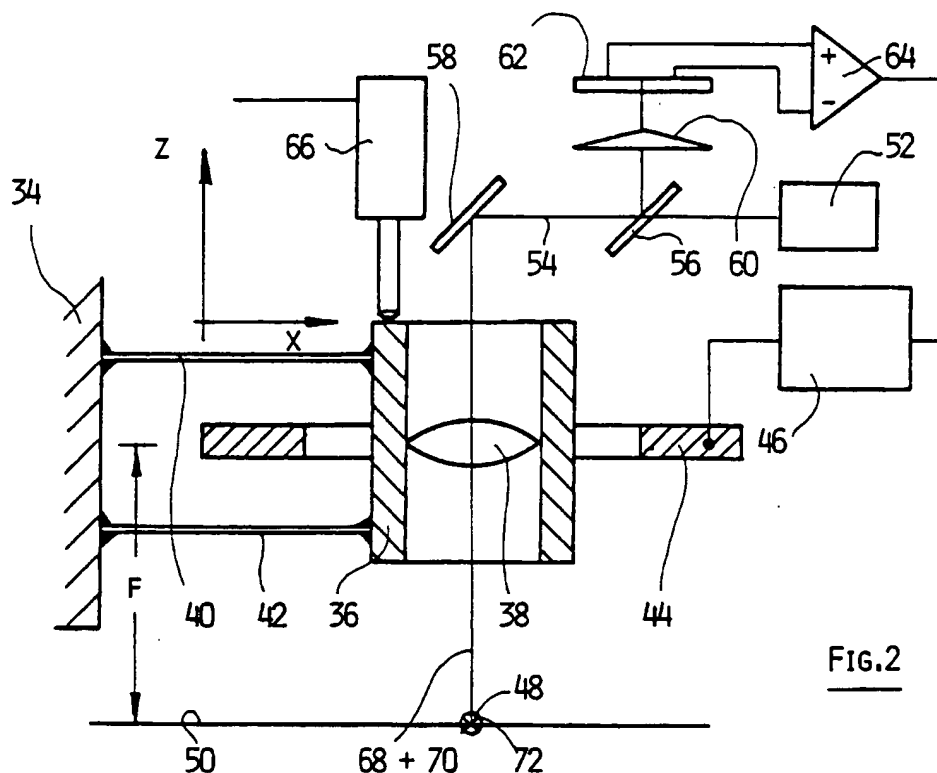
Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

55

60

65





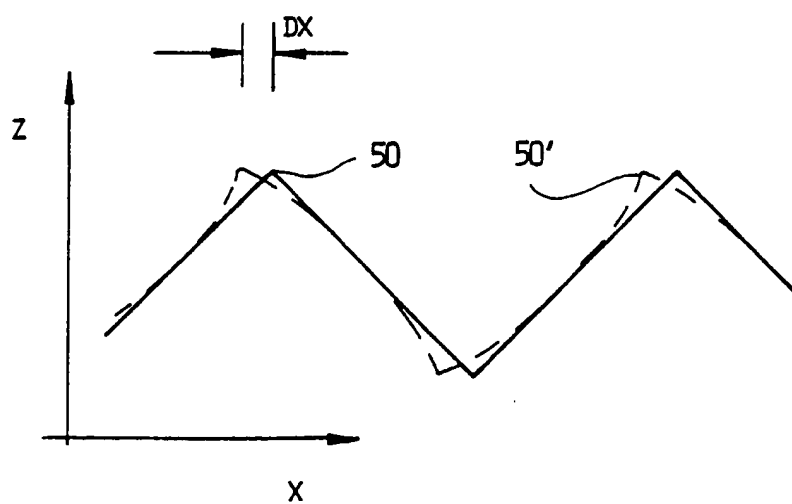
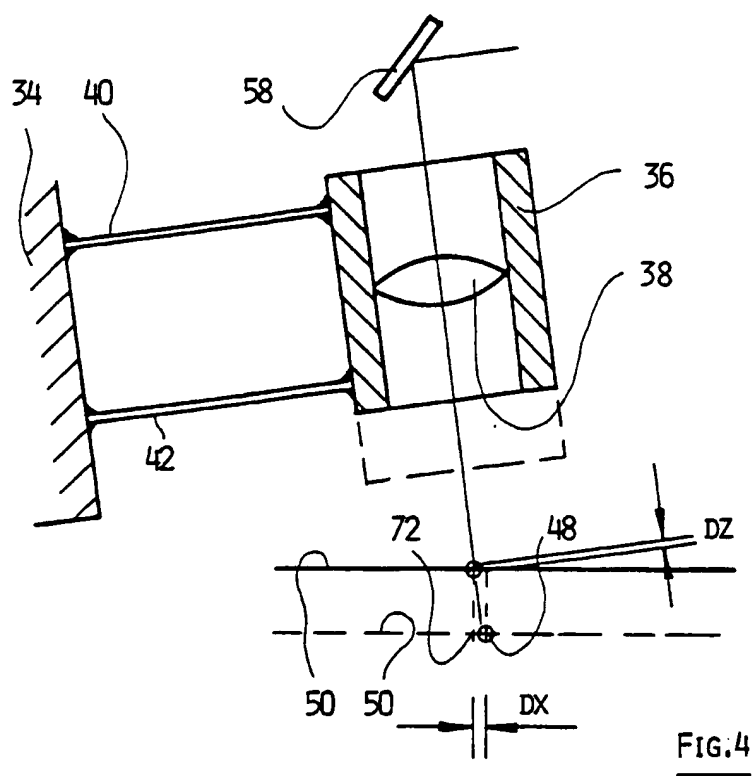
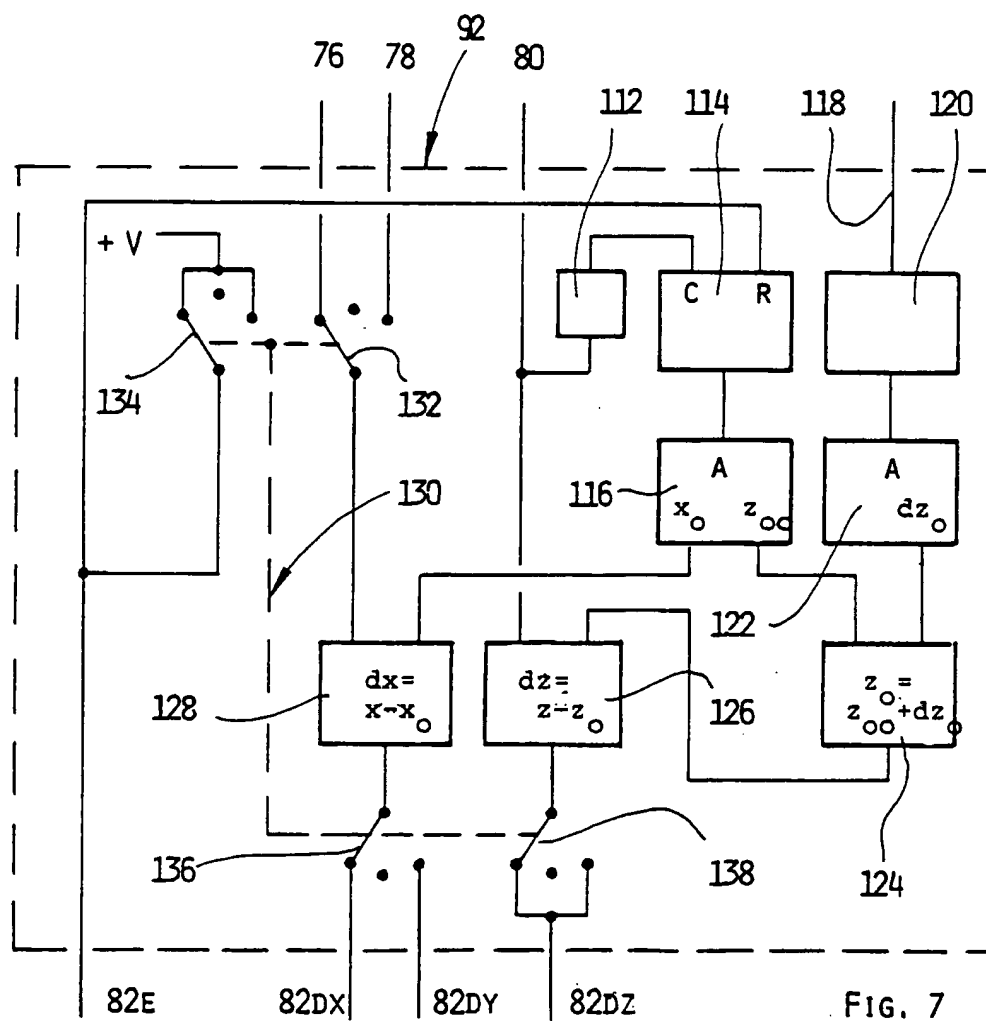
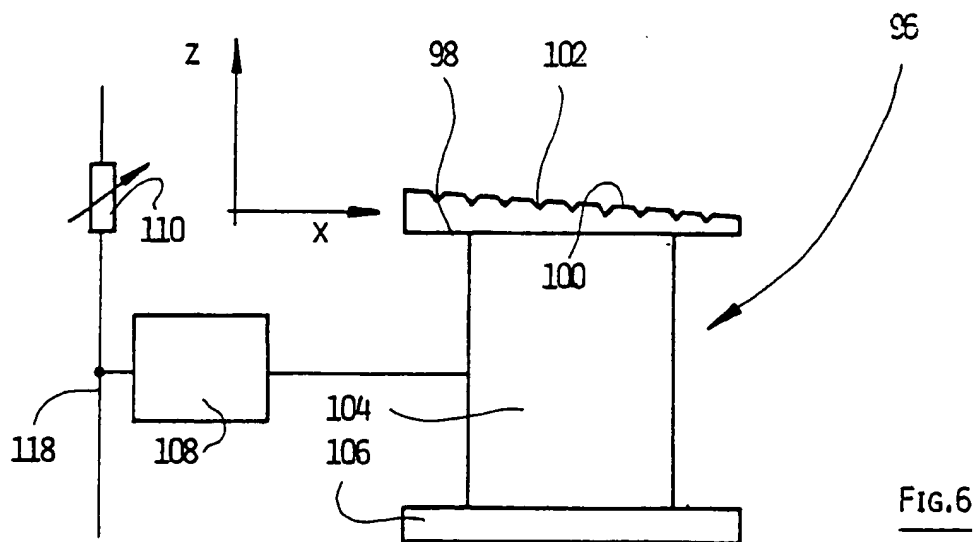
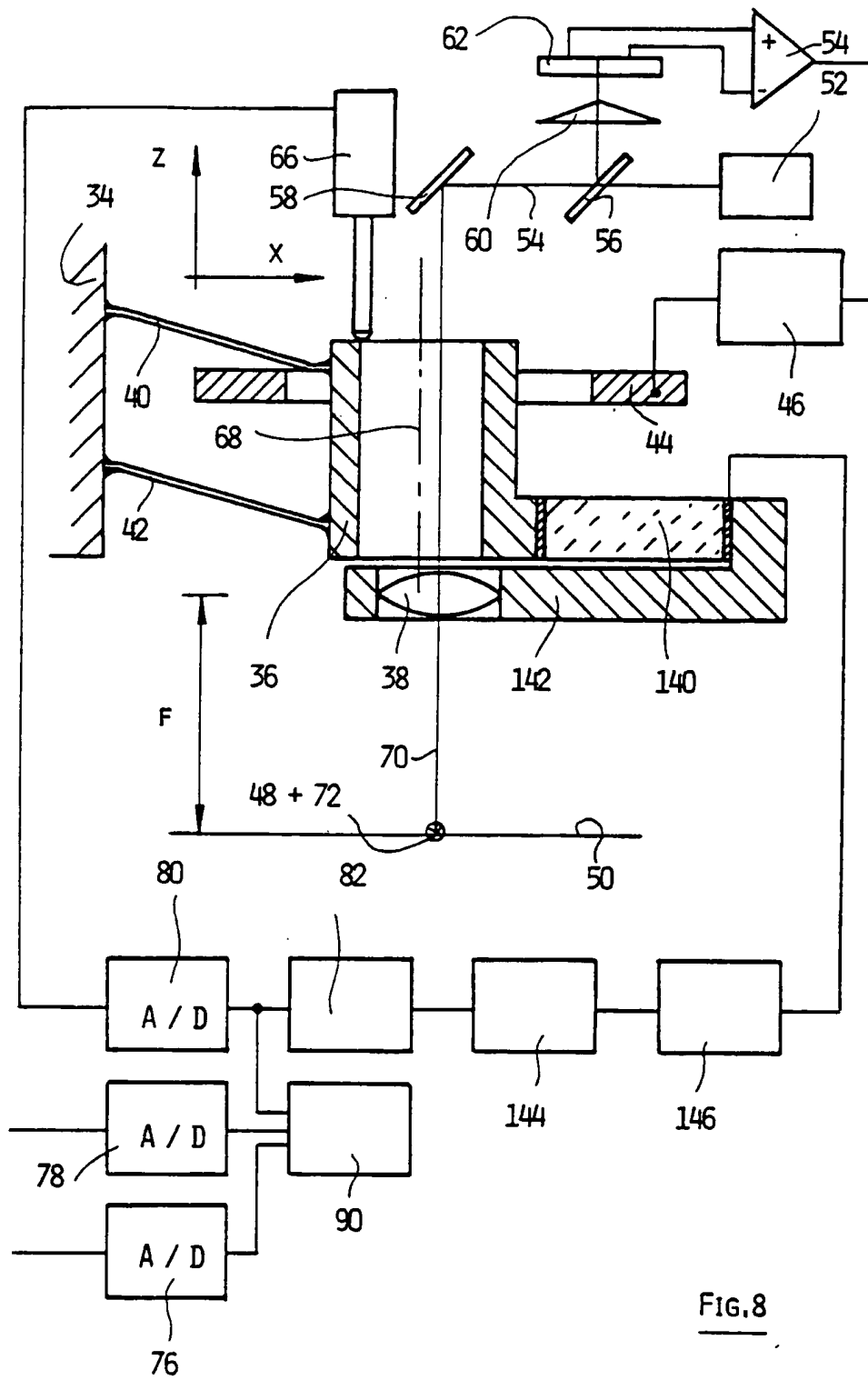


FIG.5





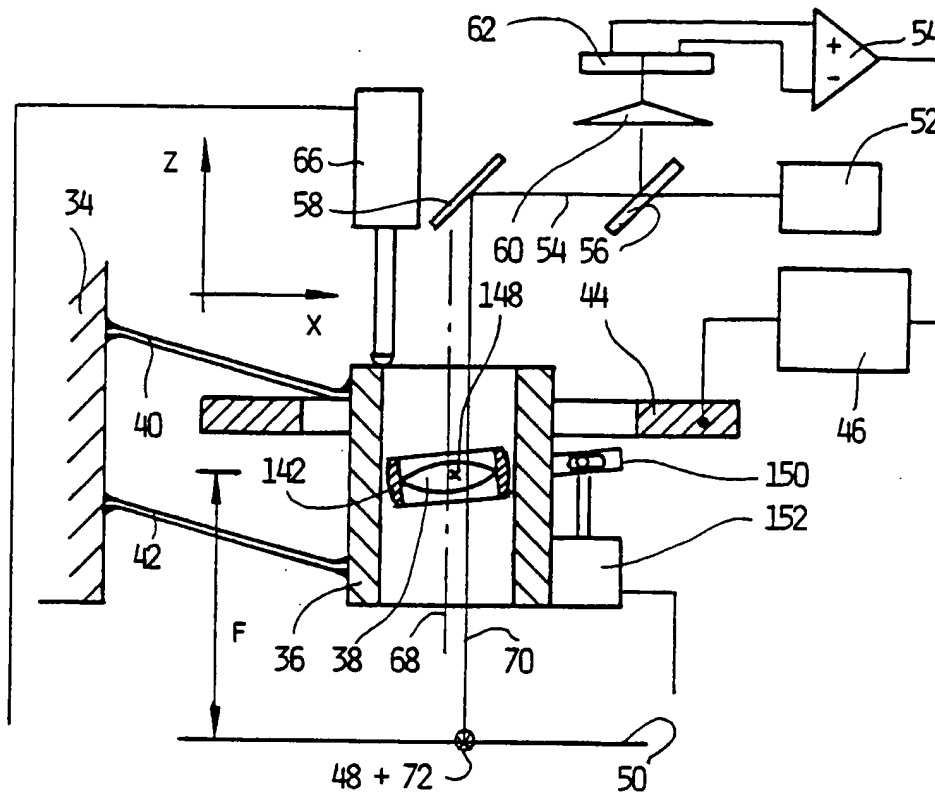


FIG. 9

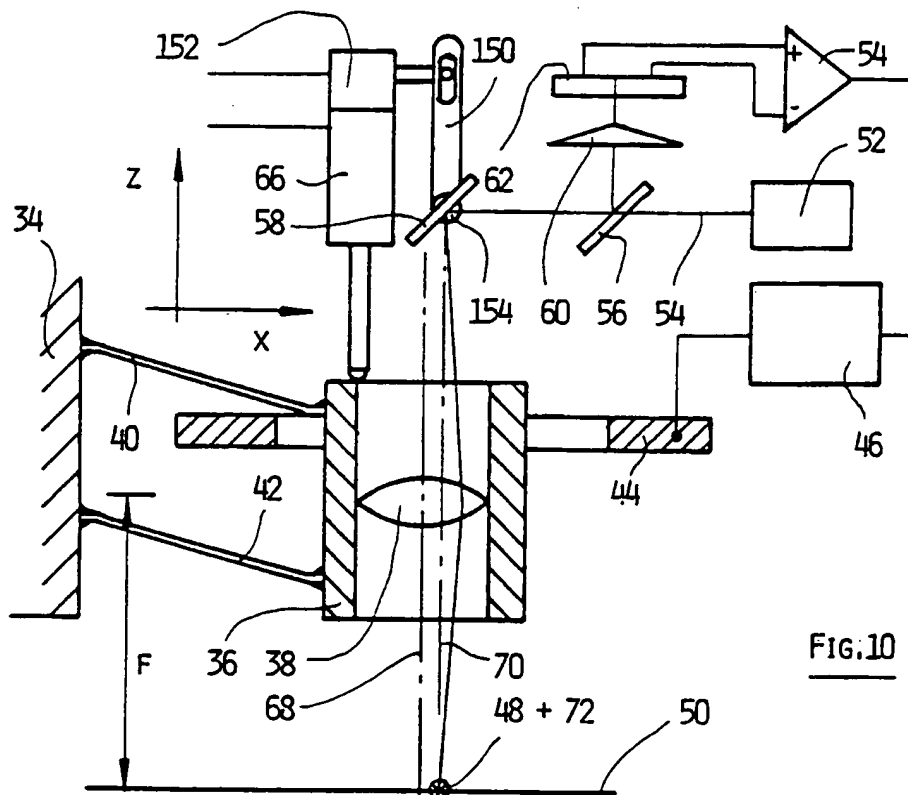


FIG. 10